

ВАРИАНТ АППАРАТУРЫ ДЛЯ РАДИОВОЛНОВОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ

В. ИВАНОВА, С. ПИЩАЛОВ

SUMMARY

The paper deals with instrumenttechnical and methodological problems of geophysical prospecting of ore deposits based on radiowave — transillumination. Instruments and methods elaborated have been successfully applied to industrial practice.

Кафедра геофизических методов разведки Софийского горногеологического института проводит работы по выяснении возможности метода радиоволнового просвечивания на полиметаллических месторождениях в Н. Р. Болгарии.

Для проведения этих исследований разработан комплект аппаратуры для шахтного варианта метода комплектованный с миниаторным скважинным передатчиком. При создании аппаратуры учитывая характеристики и особенностей существующих вариантов ставились следующие требования:

а) относительно простое схемное решение с необходимой стабильностью и точностью работы и сравнительная простота обслуживания в процессе наблюдений;

б) небольшие габариты и вес при достаточно большой мощности передатчика и высокой чувствительности приемника, обеспечивающие оптимальные интервалы просвечивания.

В разработанный комплект аппаратуры для шахтного варианта радиоволнового просвечивания входят: передатчик, приемник и комплект генераторных и приемных антен.

Блок-схема передатчика показана на рис. 1. Задающий генератор с кварцевой стабилизацией работает на четырех фиксированных частотах — 0,46; 1; 3,5 и 8 мгц. Буферный каскад ослабляет влияние усилителя мощности на задающий генератор и таким путем повышается стабильность частоты генератора.

От усилителя мощности сигнал высокой частоты подается в антенну, в качестве которой могут быть использованы штырь или рамка.

Передатчик выполнен на пальчиковых радиолампах по принципиальной схеме, показанной на рис. 2. Задающий генератор выполнен на лампе 6 НЗП (левый триод) по емкостной трехточечной схеме. Частота

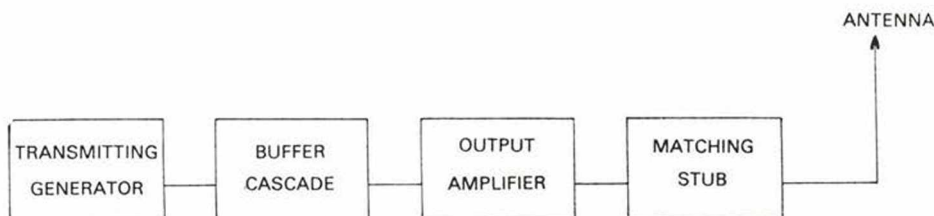


Рисунок 1. Блок схема передатчика

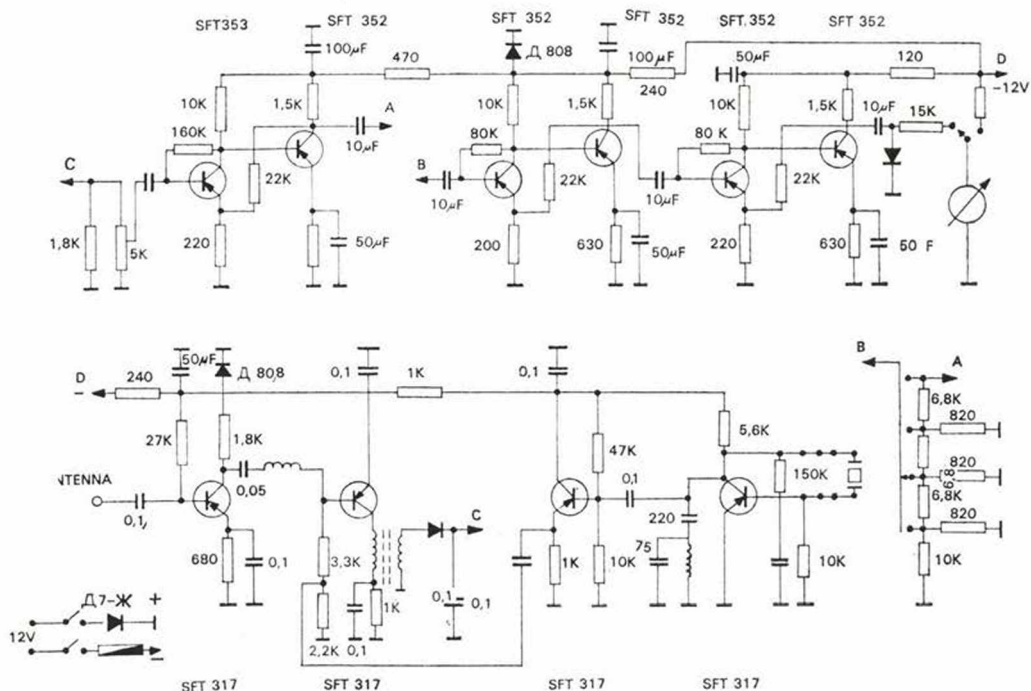


Рисунок 2. Принциальная схема передатчика

генератора стабилизирована кварцевым резонатором, включенным между сеткой и анодом лампы. Необходимо отметить, что стабилизация частоты кварцем является самым эффективным методом частотной стабилизации в области высоких частот и относительная нестабильность по частоте при термостатировании кварца достигает 10^{-7} . С целью сохранения постоянного выходного напряжения задающего генератора при работе на различных частотах анодное напряжение лампы меняется ступенчато (сопротивления 68 к и 120 к).

Буферный каскад выполнен на лампе 6НЗП (правый триод) по схеме катодного повторителя. Катодный повторитель имеет большое входное и малое выходное сопротивления. Напряжение анодного питания

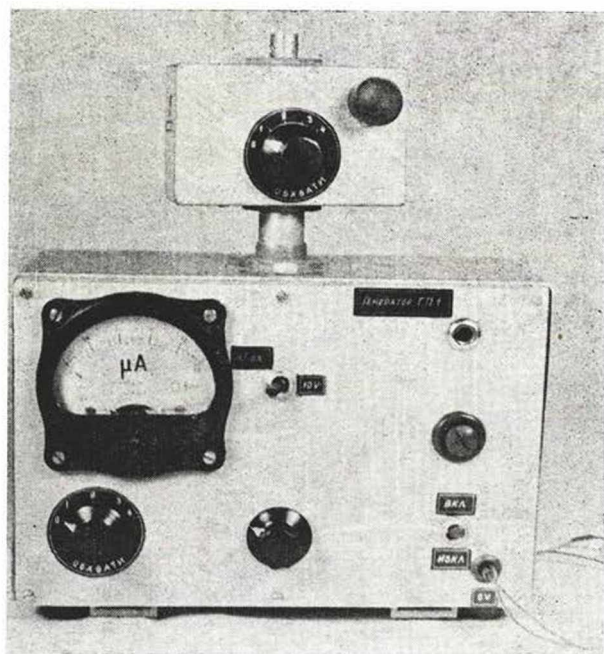


Рисунок 3. Общий вид передатчика

задающего генератора и катодного повторителя подается через развязывающий RC-фильтр (800 ом и 500 пф). Высокочастотное напряжение, которое подается с выхода катодного повторителя на вход усилителя мощности, может плавно регулироваться (потенциометр 5 к.).

Усилитель мощности (оконечный каскад) выполнен на пентоде 6П15П по параллельной схеме питания. Ввиду этого антенна не находится под постоянным напряжением, что отвечает требованиям техники безопасности при работе в штольнях с повышенной влажностью.

Антенна передатчика, штыревая или рамочная, включается в анодную цепь усилителя мощности посредством согласующего устройства. Для контроля выходной мощности часть высокочастотного напряжения на выходе измеряется с помощью амплитудного вольтметра. Через потенциометр 5к задается перенапряженный режим в оконечном каскаде и выходное напряжение не требует наличия абсолютной настройки антенны. Это в значительной мере облегчает работу с генератором. Для получения напряжения анодного питания используется транзисторный преобразователь напряжения.

Постоянное напряжение с аккумулятора (6 В) с помощью двухтактного блокинг-генератора преобразуется в напряжение прямоугольной формы, которое выпрямляется мостовой выпрямительной схемой. Трансформатор преобразователя имеет ферритовый сердечник, что способствует повышению коэффициента полезного действия. Для предо-

ранения обоих транзисторов SFT — 213 от обратного (неправильного) включения питающего напряжения в схеме включен защитный диод SFR — 136.

Для накала всех ламп генератора используется постоянное напряжение 6 В от аккумулятора.

Внешний вид передатчика показан на рис. 3. Конструктивно он выполнен в виде параллелепипеда, размерами $230 \times 155 \times 130$ мм, имеет вес 1,9 кг. и следующие технические данные:

рабочие частоты — 0,456; 1; 3,5 и 8 мГц;

выходная мощность — 1 Вт

потребляемая мощность — 15 Вт

(питание генератора осуществляется от двух аккумуляторов сц — 10).

Основной частью аппаратуры является приемник. В известной аппаратуре для радиоволнового просвечивания приемник обычно выполнен по супергетеродинной схеме с большим резонансным каскадом, обеспечивающих высокую селективность приема. Такие приемники имеют значительные габариты и в процессе работы недостаточно стабильны.

В разработанном приемнике использованы некоторые новые схемные решения, которые отличают его от известных.

Блок-схема приемника показана на рис. 4. Приемная антенна рамочная и путем настройки согласовывается с входным сопротивлением высокочастотного усилителя.

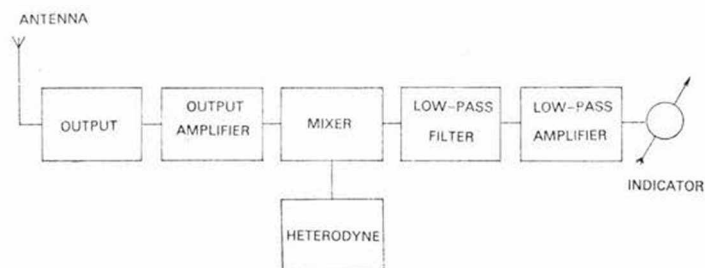


Рисунок 4. Блок-схема приемника

Частота гетеродина подобрана так, чтобы промежуточная частота попадала в звуковой диапазон (она порядка 50—100 гц). Смеситель диодный. Ввиду низкой промежуточной частоты используется обычный низкочастотный усилитель с суженной полосой пропускания. Применением низкочастотного усилителя вместо резонансного достигнуто значительное увеличение стабильности работы приемника.

Это важное преимущество при проведении измерений в неблагоприятных условиях (повышенная влажность, непостоянство температуры и др.).

В нормальном супергетеродине распределение частот показано на рис. 5.

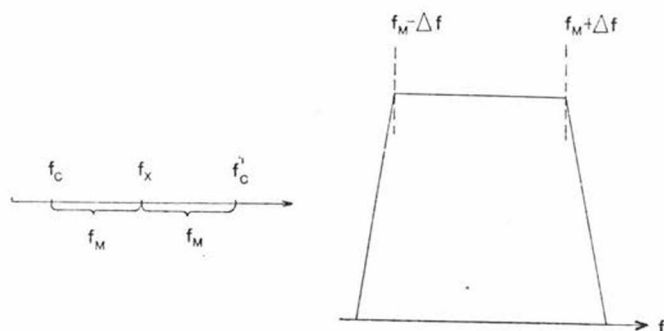


Рисунок 5. Распределение частот в нормальном супергетеродине

где:

- f_c — частота принимаемого сигнала;
 f'_c — частота зеркального канала;
 f_x — частота гетеродина;
 f_m — промежуточная частота.

Отношение $\frac{f_m}{f_m + \Delta f_m}$ очень близко к единице и требуемая селективность обеспечивается сложными резонансными системами.

В предложенный приемник распределение частот дано на рис. 6, где: отношение $\frac{f_m}{f_m + \Delta f_m}$ значительно меньше единицы — например:

$$f_m = 30 \text{ гц}; \quad \Delta f_m = 90 \text{ гц}; \quad \frac{f}{f_m + \Delta f_m} = \frac{30}{120} = \frac{1}{4}.$$

Видно, что требуемая селективность при одной и той же полосе пропускания в этом случае может быть обеспечена более простым фильтром.

Ввиду того, что промежуточная частота очень низка, не требуется применение резонансного фильтра. В разработанной схеме приемника используется обычный низкочастотный RC фильтр.

Напряжение звуковой частоты на выходе приемника измеряется амплитудным вольтметром.

Принципальная схема приемника, собранного полностью на транзисторах, показана на рис. 7.

Входной усилитель выполнен на малошумящих транзисторах SFT-317. Основное усиление получается от первого транзистора, который имеет апериодическую нагрузку. Второй транзистор используется в схеме эмитерного повторителя с трансформаторным выходом. Для выравнивания усиления на разных частотах используется частотно-корректирующая цепь, которая связывает оба транзистора.

Питание входного усилителя стабилизировано с помощью кремниевого стабилитрона Д-808.

Гетеродин выполнен на двух транзисторах SFT—317 и имеет кварцевую стабилизацию частот. Превый каскад — это задающий генератор с кварцем, включенным между коллектором и базой транзистора. Нагрузка апериодическая. Второй каскад (эмиттерный повторитель) буферный, что повышает стабильность частоты задающего генератора. Буферный каскад работает в режиме ограничения и ввиду этого амплитуда выходного напряжения гетеродина не зависит от рабочей частоты.

Смеситель выполнен на обычном диоде с трансформаторной связью.

Низкочастотный усилитель 3-х каскадный. В каждом каскаде используются два транзистора SFT—352 или SFT—353. Каждый каскад охвачен глубокой отрицательной обратной связью по постоянному и переменному току, благодаря чему режим и усиление всего низкочастотного усилителя остается стабильным при больших изменениях питающего напряжения и температуры. Ввиду этого не требуется постоянной регулировки коэффициента усиления приемника, что в большой степени упрощает работу с аппаратурой. После первого каскада включается аттенюатор, с помощью которого чувствительность приемника меняется ступенчато. Питающее напряжение второго каскада стабилизировано кремниевым стабилитроном Д—808. Напряжение на выходе низкочастотного усилителя измеряется амплитудным вольтметром с линейной шкалой.

Основные достоинства разработанной схемы приемника по сравнению с существующими в аналогичной аппаратуре заключается в следующем:

1. Частота, на которой проводится основная селекция, очень низка, вследствие чего простыми приемами достигнута селективность выше, чем при использовании высокой промежуточной частоты.

2. Величины сопротивлений и емкостей RC-фильтра определены путем расчета и поэтому отпадает необходимость в подстройке фильтра. Это улучшает технологические качества схемы.

3. Основное усиление осуществляется низкочастотным усилителем, который ввиду использования отрицательных обратных связей очень стабилен, независимо от неблагоприятных внешних факторов (температура, непостоянство питающего напряжения и др.). Это особенно важно при использовании в схемах транзисторов. Благодаря этому отпадает необходимость в калибровке при каждом измерении.

Конструктивно приемник выполнен в форме параллелепипеда (рис. 8.) размерами 230×155 и 130 и вес $2,3$ кг вместе с батареями питания.

Техническая характеристика приемника следующая:

рабочие частоты f — $0,45$; 1 ; $3,5$ и 8 мГц;

потребляемая мощность — 11 — 17 Вт $\times 30$ — 50 мА;

питание — 4 батареи $\times 4,5$ В, обеспечивающие непрерывную работу приемника в течение 20 часов;

чувствительность — $0,33$; 1 ; $3,3$; 10 ; 33 ; 100 и 330 мкВ для всей шкалы.

Уровень собственных шумов, приведенных к входу, не превышает $0,01$ мкВ.

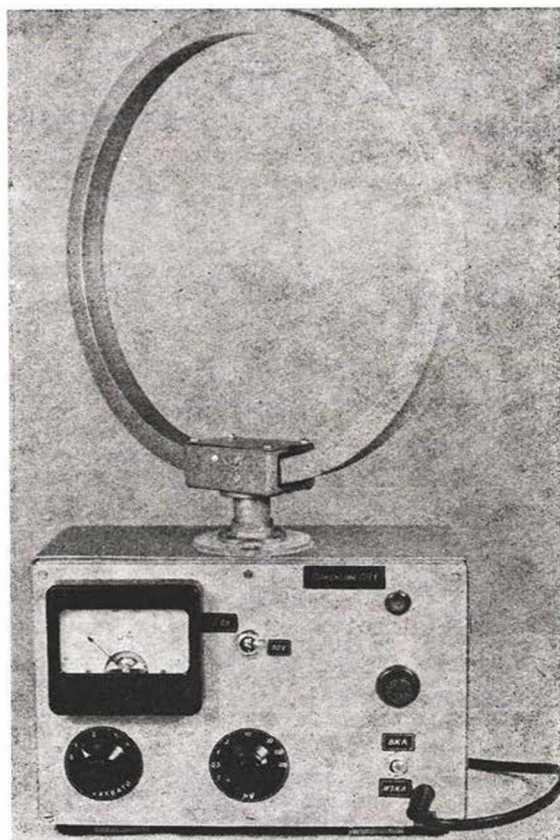


Рисунок 8. Общий вид приемника

В комплект антенн аппаратуры включены рамочные антенны 8 штук соответственно по четыре приемных и передающих для частот 0,468; 1,0; 3,0; и 8,0 мгц. Диаметр антенн 30 см., вес 0,3 кг.

Штыревая передающая антенна. Рабочая длина 120 см. вес 0,3 кг. Предусматривается при необходимости использование дополнительных элементов для увеличения ее действующей высоты.

Для расширения технических возможностей применения метода радиоволнового просвечивания при подземных геологоразведочных работах, разработанный шахтный вариант аппаратуры дополнительно укомплектован миниатюрным скважинным передатчиком, работающим на фиксированной частоте 1 мгц. и скважинным приемником.

На рис. 9 показана схема скважинного передатчика. Задающий генератор стабилизирован кварцем. Аперриодическая схема выбрана ввиду ее высокой стабильности и отсутствия регулирующих элементов. Следующий каскад передатчика выполнен по схеме эмитерного повторителя.

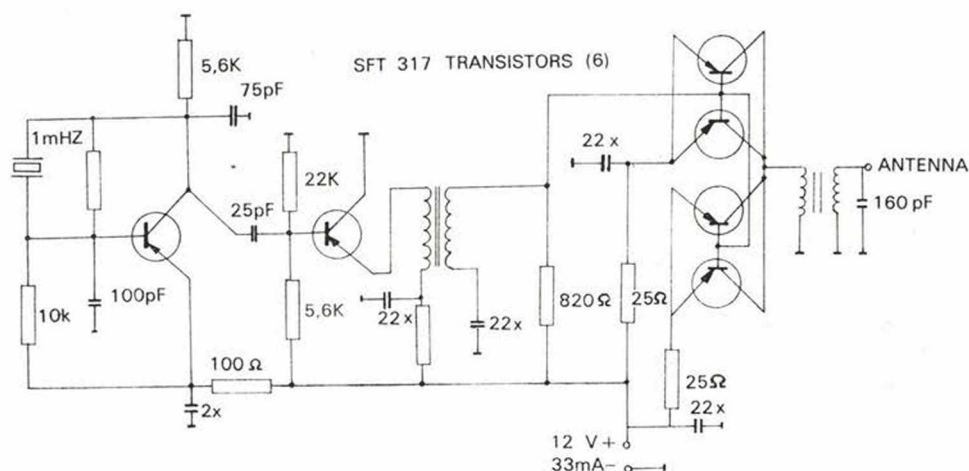


Рисунок 9. Принципиальная схема скважинного передатчика

Оконечный каскад собран на нескольких маломощных высокочастотных транзисторах.

При параллельной работе нескольких транзисторов обычно они нагружены неравномерно и возможен выход из строя некоторых из них. В разработанном передатчике для устранения этого явления использованы два отдельных эмитерных сопротивления, а транзисторы в каждой группе подбираются. На выходе передатчика включен параллельный колебательный контур для настройки антенной цепи. Согласование с нагрузкой осуществляется с помощью трансформатора с ферритовым сердечником.

В качестве антенны используется кабель длиной 4м.

Внешний вид скважинного передатчика показан на рис. 10 а размещение электронной схемы в скважинном снаряде на рис. 11. Вес передатчика вместе с питанием 1,4 кг, диаметр 30 мм, длина 850 мм.

Техническая характеристика:

рабочая частота	— 1 мгц
выходная мощность	— около 0,2 вт
потребляемая мощность	— 12 V × 33 МА.

Скважинный приемник состоит из высокочастотной приставки, включающей в себе приемную антенну с автономным питанием и низкочастотным блоком.

Для низкочастотного блока использована часть шахтного приемника в котором сохранен его основной принцип построения. Селективность достигнута на базе принимаемой и осцилляторной частоте, с разницей друг от друга на нескольких сот герц. Схема высокочастотной приставки показана на рис. 12. Она состоит из четырех германиевых транзисторов.

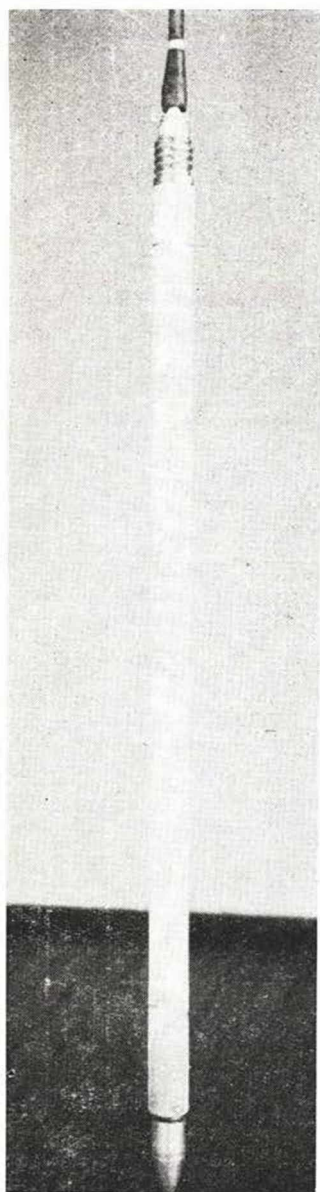


Рисунок 10. Общий вид скважинного передатчика

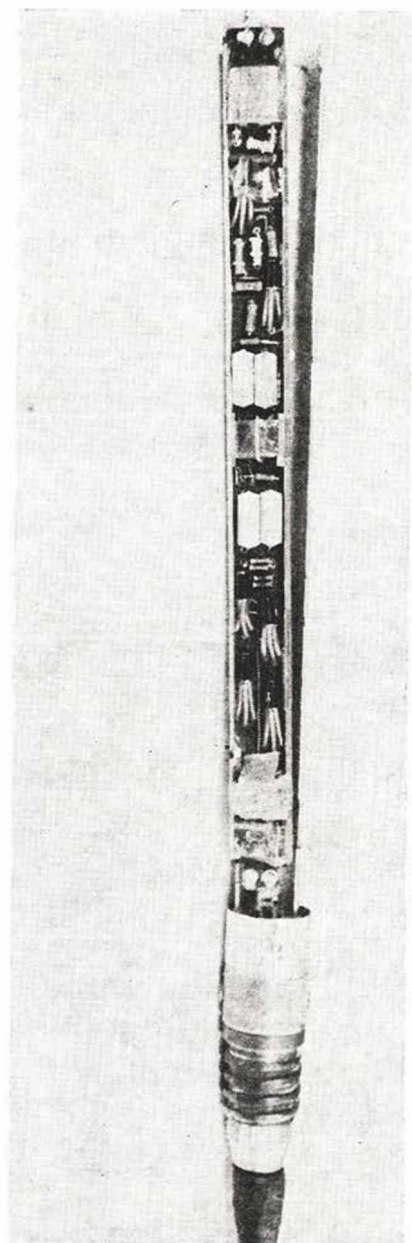


Рисунок 11. Размещение электронной схемы скважинного передатчика

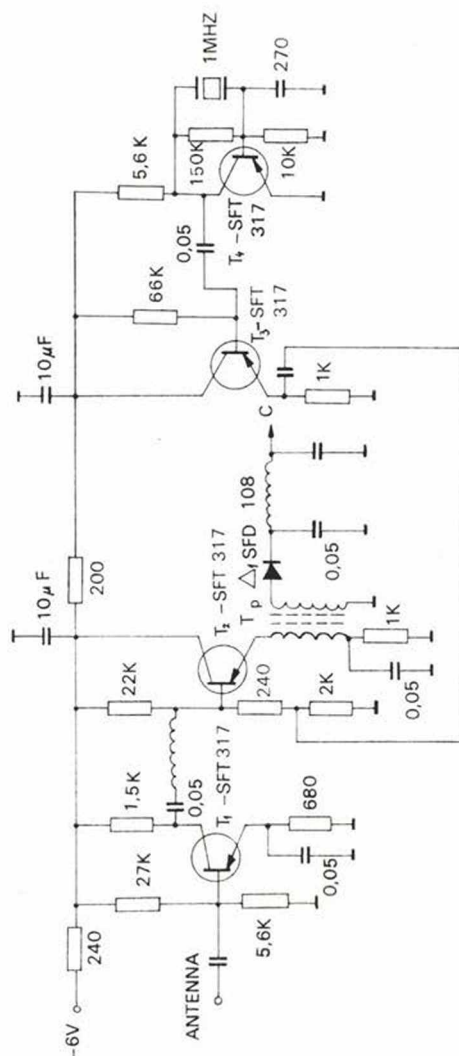


Рисунок 12. Схема высокочастотной приставки

Индуктируемый сигнал скважинного генератора через конденсатор с минимальным значением перебрасывается на вход трепящего круга с самоиндукцией L_1 . Далее сигнал подается к L_2 с коэффициентом трансформации 10 : 1. Транзистор T_1 SFT-317 работает как широкополосный усилитель с общим эмитером. Усиленный сигнал подается на транзистор T_2 SFT-317, который работает как эмиттерный повторитель. Одновременно с входным сигналом на базу T_2 подается сигнал от осциллятора T_4 SFT-317. Смешивание осуществляется в диоде D_1 , SFD-108. После диода напряжение с частотой нескольких сот герц подается на низкочастотный П-фильтр со самоиндукцией L_3 . Далее сигнал попадает на

специальном проводнике который связан с шахтным приёмником. Питание схемы осуществляется четырёх элементов СЭЛ-2.

Конструктивно зонд состоит из двух частей: металлическая труба с внешним диаметром $d = 40$ мм и длиной $l = 700$ мм, в которой размещена электронная схема вместе с питанием и пластмассовую трубу с диаметром $d = 40$ мм и длину $l = 1500$ мм, в которой поставлена антенна. Общая длина зонда 2200 мм.

Опробование разработанной аппаратуры в различных геофизических условиях показало, что она отвечает основным требованиям производства. При изменении сопротивления вмещающих пород в пределах от 60 до 400 ом дальность действия меняется соответственно от 60 до 140 м для частоты 0,468 мГц и от 20 до 70 м для частоты 8 мГц. Аппаратура характеризуется большой стабильностью работы, а ее портативность и простота обслуживания обеспечивают высокую производительность наблюдений.

На основании результатов производственного испытания аппаратуры и многообразия задач, предстоящих к решению в условиях месторождений с различными геоэлектрическими характеристиками, намечены следующие основные направления по ее дальнейшему усовершенствованию:

а) увеличение дальности действия путем повышения чувствительности приемника;

б) разработка и включение в комплект аппаратуры устройства для прямой радиосвязи операторов, обслуживающих передатчик и приемник, что особенно необходимо при радиопросвечивании между двумя горизонтами.

ЛИТЕРАТУРА

- Иванова В., Пищалов С., Мутафов С., 1968.: Эффективность метода на радиоволновом просвечивании в условиях на оловянно-серебряного находище «Чипровци». Сборник на трудове – НИС ВМГИ.
- Несынов Ю. В., 1968.: Фазовые двухчастотные измерения в радиоволновых методах. Известия ВУЗОВ. Геология и разведка, кн. 1.
- Петровский А. Д., Изюмов И. Ф.: Вариант аппаратуры и методики радиоволнового просвечивания из скважин. Труды ЦНИГРИ, вып. 33. 1959.
- Светов Б. С., Петровский А. Д., Ершов Е. М., Каменецкий Ф. М. и др., 1966. Электромагнитные методы разведки в рудной геофизике. Изд. Недра, Москва.
- Kaspar Milan, 1967.: Spolencue Ceskoslovensko-nemerue dunli geofizikalni mereni junzni oblasti Zlatich Hor Geol. pruzkum, no. 11.
- Kaspar Milan, 1964.: Messapparat für die neuen radiotechnische Bohrlochverfahren – Freiburger Forschungs., no 226.
- Kelleuer R., 1966.: Some statistical properties of the ground diffraction patterns of vertically reflected radio waves. Atmos and Terr. Phys., N. 2.
- Pistaloff St., Ivanova W., 1969.: Die Effektivität der unterirdischen geophysischen Methoden unter den Bedingungen der Blei-silber „Tschiprovi“, Geophys. und Geologie, Folge 13, Leipzig.